

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ФЕРРИТНОЙ СТАЛИ 20Х3МВФ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ

Морозова Л.В., Наприенко С.А.

Руководитель - д.т.н. Орлов М.Р.

ФГУП «ВИАМ», г. Москва, 105505, Россия

morozovalv@viam.ru

Исследовано влияние характера разрушения, микроструктуры и механических характеристик в зависимости от степени холодной пластической деформации стали 20Х3МВФ в отожженном состоянии со структурой феррита. Установлено, что повышение степени пластической деформации феррита приводит к снижению значений ударной вязкости КСЧ и КСТ, повышению твердости, увеличению микронапряжений и областей когерентного рассеяния и не оказывает влияния на механизм разрушения стали как при статическом, так и циклическом нагружении.

Фрактографические исследования эксплуатационных разрушений шестерен редуктора центрального привода авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) из стали 20Х3МВФ со структурой отпуска мартенсита методами оптической и растровой электронной микроскопии выявили присутствие в статических зонах изломов шестерен участков квазискола [1], характерных для статического разрушения феррита [2] и бейнита [3].

Энергоемкость процесса разрушения бейнита по механизму квазискола существенно уступает энергоемкости вязкого ямочного механизма разрушения мартенсита отпуска комплекснолегированных среднеуглеродистых сталей (улучшаемой 30ХГСА, высокопрочной 38ХН3МА и теплостойкой 37Х2Н3М2Ф) при одинаковых прочностных характеристиках [4, 5]. Легирование никелем повышает энергоемкость процесса разрушения комплекснолегированных конструкционных сталей со структурами бейнита и мартенсита, не изменяя механизм их разрушения [6].

Фрактографический анализ механизмов разрушения сталей в различном структурном состоянии в сопоставлении с характеристиками прочности, пластичности и энергоемкости процесса разрушения показывает [2–6], что разрушение квазисколом существенно снижает конструкционную прочность сталей. В этой связи задача повышения работоспособности шестерен редуктора центрального привода ГТД может быть решена путем исключения квазихрупкого механизма разрушения конструкционных сталей.

Согласно представлениям, развиваемым профессором С.И. Кишкиной, проблема снижения порога хладноломкости стали (температуры вязко-хрупкого перехода) может быть решена путем повышения содержания углерода, а также применением холодной пластической деформации, повышающей плотность дислокаций, препятствующей реализации

механизма квазискола по кристаллографическим плоскостям плотной упаковки [7].

Выполнены исследования характера разрушения, микроструктуры и механических характеристик стали 20Х3МВФ при статическом нагружении в зависимости от степени холодной пластической деформации.

Величина холодной пластической деформации заготовок образцов стали 20Х3МВФ со структурой феррита, результаты определения ударной вязкости КСЧ, КСТ, значения твердости НV, величина микроискажений кристаллической решетки и размеры ОКР в сопоставлении с характеристиками стали со структурой отпущенного мартенсита представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Механические и структурные параметры стали 20Х3МВФ со структурой отпущенного мартенсита и феррита с различной степенью холодной пластической деформацией

№ п/ п	Степень холодной пластическ ой деформаци и, ε_d , %	КСЧ, кДж/ м ²	КСТ, кДж/ м ²	Твердос ть НV	Величина микроискажен ий кристаллическ ой решетки ε_m , %	ОКР, D, нм
Сталь со структурой отпущенного мартенсита						
1	0	810	135	375	12,9	12,5
Сталь со структурой феррита						
2	0	3710	800	185	0,7	12,2
3	5	3100	410	215	4,2	19,1
4	12	3000	160	230	4,4	16,2
5	22	1260	120	235	4,9	17,2
6	32	650	110	250	5,6	15,5

Установлено, что для стали 20Х3МВФ проблема снижения порога хладноломкости феррита не может быть решена применением пластической деформации в пределах значений до $\varepsilon_d = 32$ %.

Показано, что при статическом нагружении основным механизмом разрушения стали 20Х3МВФ со структурой отпущенного мартенсита и феррита является транскристаллитный квазискол (рис. 1).

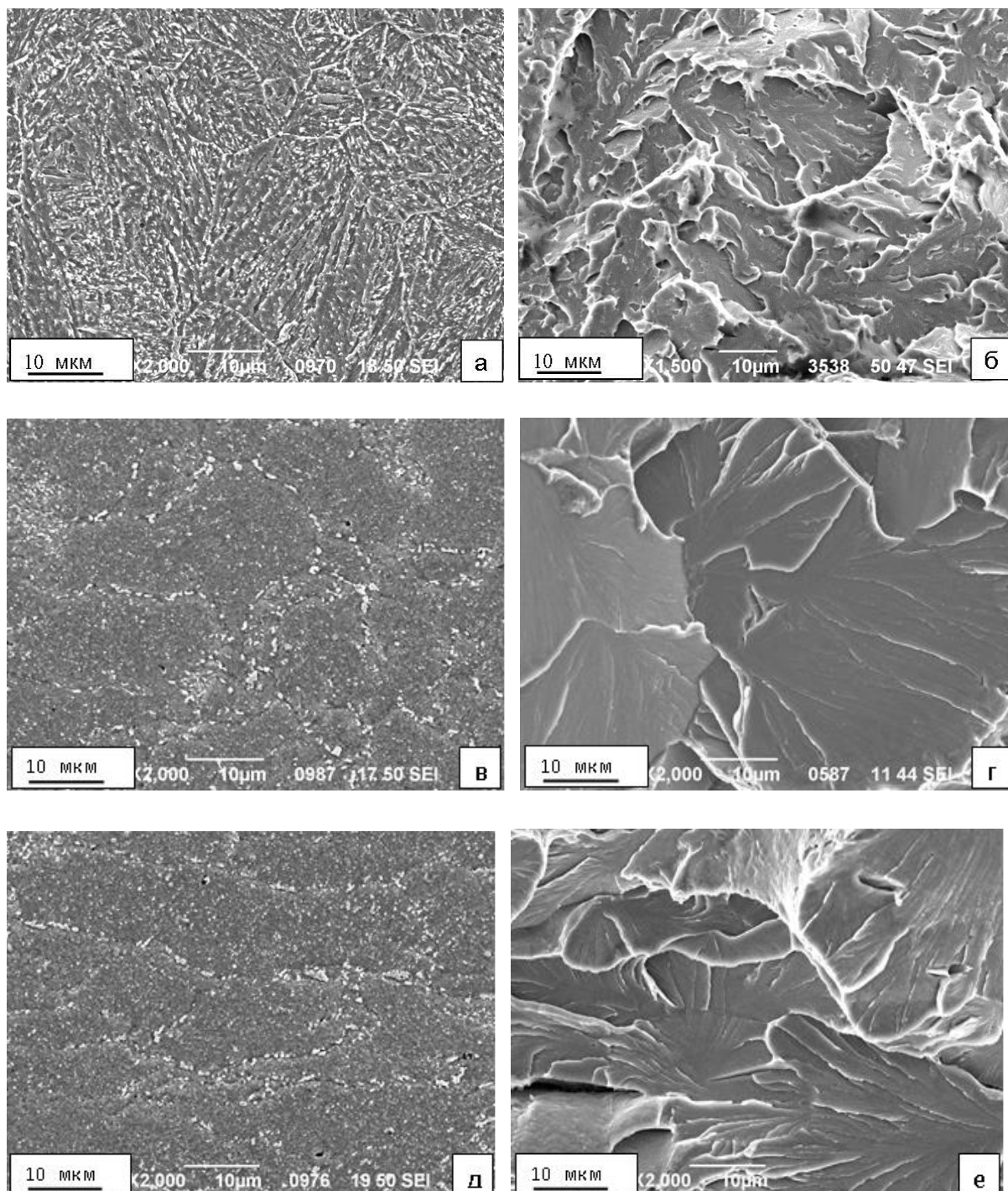


Рисунок 1 Микроструктура и разрушение стали 20X3MBФ со структурой отпускаемого мартенсита (а, б), со структурой рекристаллизованного феррита (в, г) и рекристаллизованного феррита с последующей холодной деформацией $\epsilon = 32\%$ (д, е).

Исследование зоны усталостного развития трещин в образцах, испытанных на КСТ показал, что механизм усталостного разрушения феррита стали 20X3MBФ с различной величиной холодной пластической

деформацией также остается неизменным и соответствует усталостному механизму разрушения стали со структурой отпущенного мартенсита.

Установлено, что повышение степени пластической деформации феррита сопровождается снижением значений ударной вязкости КСУ и КСТ, повышением твердости, увеличением микронапряжений и не оказывает влияния на механизм разрушения стали 20Х3МВФ как при статическом, так и циклическом нагружении.

Согласно представлениям, развиваемым профессором С.И. Кишкиной, проблема снижения порога хладноломкости может быть решена путем повышения содержания углерода в составе стали для конических шестерен центрального привода ГТД. В этой связи представляется целесообразным рассмотреть вопрос применения улучшаемых, высокопрочных или теплостойких сталей взамен цементуемых сталей для изготовления высоконагруженных конических шестерен центрального привода ГТД.

Работа выполнена в рамках проекта «Комплексное развитие инфраструктуры ЦКП «Климатические испытания» ФГУП «ВИАМ».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Громов В.И., Курпякова Н.А., Седов О.В., Коробова Е.Н. Вакуумная и ионно-плазменная химико-термическая обработка ответственных деталей газотурбинных двигателей //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 147–156.
2. Орлов М. Р., Оспенникова О.Г., Наприенко С.А., Морозова Л.В. Исследование усталостного разрушения конических шестерен редуктора центрального привода газотурбинного двигателя, изготовленных из стали 20Х3МВФ //Деформация и разрушение материалов. 2014. №7. С. 18–26.
3. Энгель Л., Клингеле Г. Растровая электронная микроскопия. Разрушение: Справочник; Пер. с нем. М.: Металлургия. 1986. 232 с.
4. Тишаев С.И., Орлов М.Р., Колесников В.А. О природе «бейнитной» хрупкости вторичнотвердеющих сталей //Известия АН СССР. Металлы. 1985. №4. С. 143–149.
5. Орлов М.Р., Оспенникова О.Г., Громов В.И. Замедленное разрушение стали 38ХН3МА в процессе длительной эксплуатации //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. №SP2. С. 5–12.
6. Орлов М.Р., Оспенникова О.Г., Громов В.И. Развитие механизмов водородной и бейнитной хрупкости конструкционной стали в процессе эксплуатации крупногабаритных конструкций //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 88–93.
7. Ратнер С.И. Разрушение при повторных нагрузках. М.: Оборонгиз 1959. 352 с.